

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМУВАННІ ВНУТРІШНІХ ШЛІЦЬОВИХ ПОВЕРХОНЬ В ГЛУХИХ ОТВОРАХ

В роботі уточнено розрахунок використаного ресурсу пластичності при холодному формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах. При розрахунку використаного ресурсу пластичності враховано вплив об'ємності схеми напруженого стану. Отримані в роботі результати можуть бути застосовані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.

Ключові слова: використаний ресурс пластичності, граничне формозмінення, шліцьові поверхні.

I.Y. KYRYTSYA, V.EV. PERLOV
Vinnytsia national technical University

FEATURES OF THE CALCULATION OF THE USED RESOURCE OF PLASTICITY AT COLD FORMING INTERNAL SPLINE SURFACES IN BLIND HOLES

Abstract – The calculation of the used resource of plasticity at cold forming internal spline surfaces in blind holes is refined in this work. At calculation of the used resource of plasticity takes into account influence of volume of the schema of the stress state. The obtained results can be applied to evaluate the limiting deformation in such processes, involving a volumetric scheme of the stress state.

Keywords: used resource of plasticity, limiting deformation, spline surfaces.

Формування внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах холодним пластичним деформуванням забезпечує якість готових виробів, що використовуються в гідротрансмісії тихохідних машин (рис. 1).



Рис. 1. Деталь із внутрішньою шліцьовою поверхнею в глухому отворі

Варто відмітити, що при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором реалізується об'ємний напружений стан.

В даній роботі досліджується процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором, в якому найбільш значущим параметром, що відповідає за якість виробів, прийнято використаний ресурс пластичності, тому метою роботи є уточнення розрахунку використаного ресурсу пластичності в технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.

За результатами досліджень отриманими в роботах [1-3]: вивчено механіку процесу формування шліцьової поверхні; сформовано технологічний паспорт матеріалу (сталь 20Х), з якого виготовляються деталі з внутрішньою шліцьовою поверхнею; використовуючи методику запропоновану в роботі [4] розраховано і досліджено напружено-деформований стан в різних областях формуемого виробу з метою оцінки використаного ресурсу пластичності; визначено, що найсприятливішою, з точки зору деформування заготовки без руйнування та використаного ресурсу пластичності (ψ), є комбінована схема навантаження ($\psi = 0,3$ – поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні; $\psi = 0,31$ – поблизу зуба шліцьової поверхні).

Із результатів розрахунків напружено-деформованого стану [3] випливає, що найбільш небезпечними областями, з точки зору руйнування, є області поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні – точки 1, 2, та поблизу зуба шліцьової поверхні $\theta = 30^\circ$ (див. рис. 2).

На діаграмі пластичності, в координатах граничний ступінь накопиченої інтенсивності деформації до моменту руйнування e_p , показник напруженого стану η , для областей, найбільш близьких до руйнування, побудували шляхи деформування характерних точок 1, 2 (рис. 3).

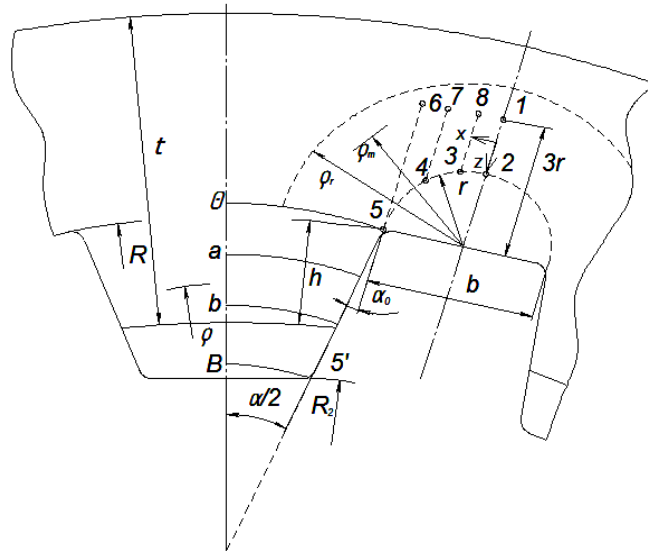


Рис. 2. Розрахункова схема

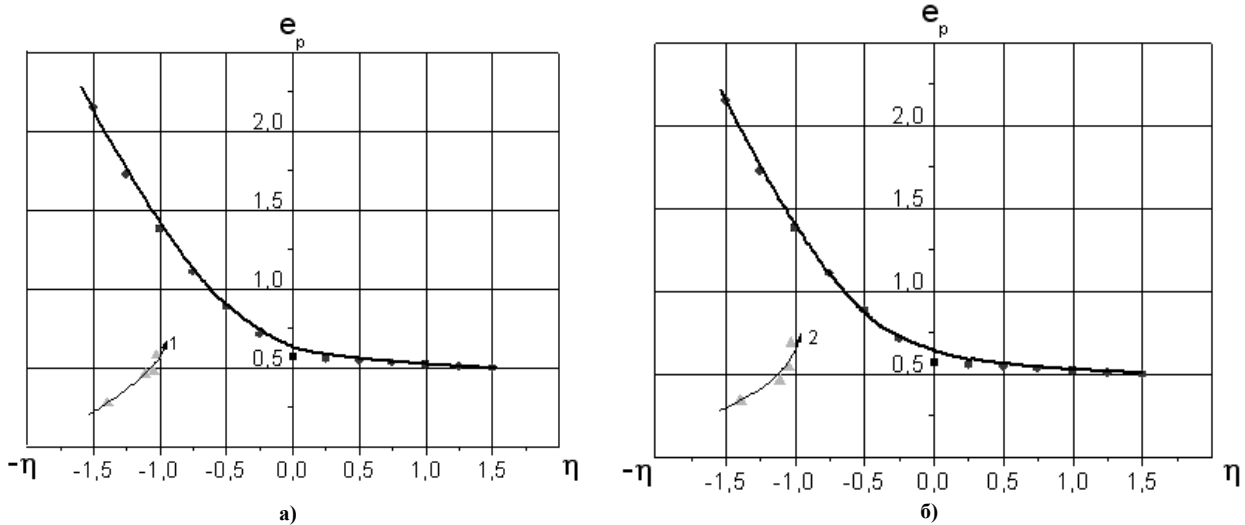


Рис. 3. Діаграма пластичності сталі 20Х і шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором а) т. 1; б) т. 2

Використаний ресурс пластичності ψ розраховували за критерієм (1) запропонованим Г. Д. Делем, В. А. Огородніковим і В. Г. Нахайчуком

$$\psi = \int_0^{e_p} n \frac{e_u^{n-1}}{e_p(\eta)^n} de_u, \tag{1}$$

де $n = 1 + a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}$; e_u – інтенсивність деформацій; $e_p(\eta)$ – діаграма пластичності.

Для оцінки деформуємості заготовок потрібно мати інформацію про напружено-деформований стан протягом усього процесу формозмінення, цим зумовлена необхідність поетапного формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором, з можливістю зняття заготовки для дослідження після проходження через 2, 4, 6, 7 волокни.

В таблиці 1 наведені результати розрахунків використаного ресурсу пластичності для небезпечних з точки зору руйнування областей.

Таблиця 1

Результати розрахунків використаного ресурсу пластичності

№ волокни	2	4	6	7
ψ (точка 1 – поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,14	0,3	0,32	0,41
ψ (точка 2 – поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,17	0,3	0,36	0,48
ψ (поблизу зуба шліцьової поверхні $\theta = 30^\circ$)	0,19	0,58	0,69	0,78

В зв'язку з тим, що при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором реалізується об'ємний напружений стан, необхідно врахувати третій інваріант тензора напружень $I_3(T_\sigma)$.

Використовуючи методику запропоновану В. А. Огородніковим [5] для врахування впливу $I_3(T_\sigma)$ на величину граничної деформації, розрахували показник напруженого стану за критерієм (2)

$$\chi = \frac{\sqrt{I_3(T_\sigma)}}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sqrt[3]{\sigma_1\sigma_2\sigma_3}}{\sigma_u} \tag{2}$$

де $I_1(T_\sigma)$ – перший інваріант тензора напружень; $I_2(D_\sigma)$ – другий інваріант девіатора напружень; σ_u – інтенсивність напружень.

Для різних значень показника η ($-2 \leq \eta \leq 0$), визначили $f(\eta)$ за функціональною залежністю наведеною в роботі [5]. Із виразу

$$f(\eta) = \frac{\chi}{\Delta\eta - \eta} \tag{3}$$

визначили $\Delta\eta$. Величина $\Delta\eta$ визначає “зміщення” вздовж вісі η кривої $e_p^* = f(\eta)$, що побудована при $I_3(T_\sigma) \neq 0$ відносно кривої $e_p = f(\eta)$, побудованої при $I_3(T_\sigma) = 0$.

Таким чином, нами було введено поправку на діаграмі пластичності пов'язану з впливом показника χ (див. рис. 4).

Отримані результати по діаграмі пластичності сталі 20Х з урахуванням показника χ використовували для розрахунку використаного ресурсу пластичності за критерієм (4)

$$\psi = \int_0^{e^*} (1+f) \frac{e_u^f de_u}{e_p^*[\eta(e_u)]^{1+f}}, \tag{4}$$

де $f = 0.2 \arctg\left(\frac{d\eta}{de_u} + \frac{d\chi}{de_u}\right)$.

В таблиці 2 наведені результати розрахунків використаного ресурсу пластичності по критерію (4), що враховує вплив третього інваріанту тензора напружень для небезпечних з точки зору руйнування областей.

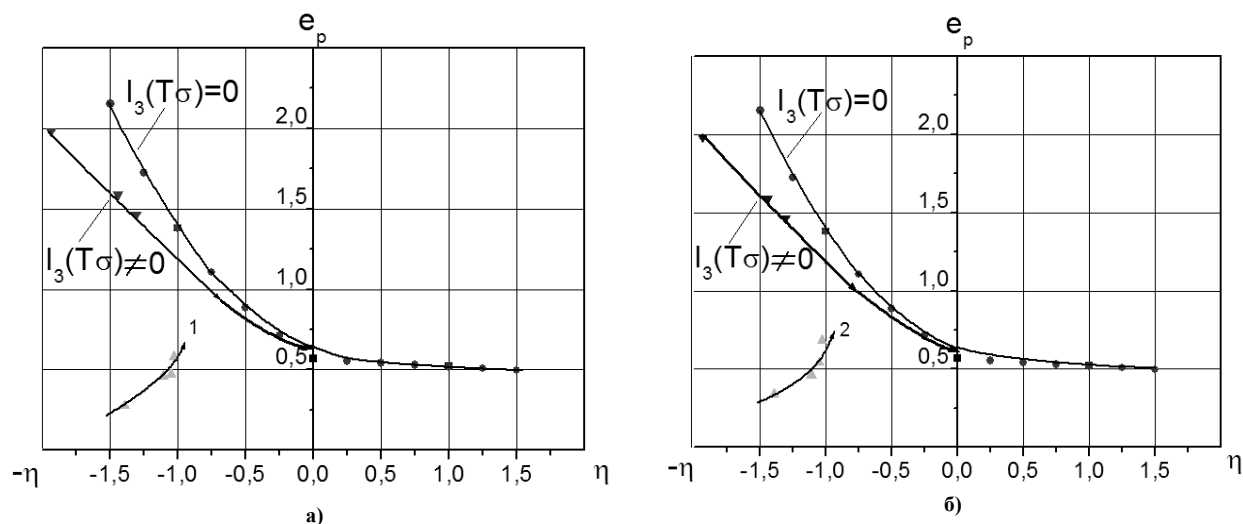


Рис. 4. Діаграма пластичності сталі 20Х з урахуванням показника χ і шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором. а) т. 1; б) т. 2

Таблиця 2

Результати розрахунків використаного ресурсу пластичності

ψ	Волока № 2	Волока № 4	Волока № 6	Волока № 7
точка 1 – (поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,2	0,36	0,4	0,5
точка 2 – (поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,23	0,36	0,45	0,6
(поблизу зуба шліцьової поверхні $\theta = 30^\circ$)	0,25	0,64	0,75	0,84

Висновки

1. На основі аналізу напружено-деформованого стану оцінено використаний ресурс пластичності і визначені області найбільш близькі до руйнування: поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні та поблизу зуба шліцьової поверхні.

2. Уточнено розрахунок використаного ресурсу пластичності в процесі формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором. Використаний ресурс пластичності оцінено з урахуванням показників напруженого стану, що включають в себе три інваріанти тензора і девіатора напружень. Показано, що врахування третього інваріанта тензора напружень (I_3 (T_σ)) при оцінці використаного ресурсу пластичності приводить до пониження граничної до руйнування деформації, а відповідно до збільшення використаного ресурсу пластичності. Інформація про використаний ресурс пластичності дозволила рекомендувати, для підвищення продуктивності даного процесу, зменшення використаного ресурсу пластичності та збільшення величини коефіцієнту заповнюємості шліцьового профілю, проводити проміжний відпал та перейти до схеми деформування з обмеженою осьюовою течією металу.

3. Отримані в роботі результати з метою оцінки використаного ресурсу пластичності можуть бути застосовані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах для виробів, що виготовляються із інших марок сталей шляхом моделювання відповідних процесів. Це твердження засноване на гіпотезі широко підтвердженій в роботах [5, 6]. Сутність цієї гіпотези заключається в тому, що шляхи деформування частинок матеріалу в координатах η (e_w) практично не залежать від властивостей матеріалу, а відповідно з'являється можливість моделювання подібних технологічних процесів з побудовою діаграм пластичності інших матеріалів.

Література

1. Кириця І. Ю. Процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь у глухих отворах методом холодного пластичного деформування / І. Ю. Кириця // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 1. – С. 34–37.

2. Розенберг О. А. Деформируемость металла при формировании внутренних шлицевых поверхностей в глухих отверстиях методом холодного пластического деформирования (Сообщение 1) / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко, И. Ю. Кирица // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2007. – № 1(7). – С. 117–120.

3. Розенберг О. А. Деформируемость металла при формировании внутренних шлицевых поверхностей в глухих отверстиях методом холодного пластического деформирования (Сообщение 2) / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко, И. Ю. Кирица // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2008. – № 1(4). – С. 93–98.

4. Огородников В. А. Напряженно-деформированное состояние при формировании внутреннего шлицевого профиля методом обжатия на оправке / В. А. Огородников, И. Г. Савчинский, О. В. Нахайчук // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 12. – С. 31–33.

5. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.

6. Огородников В. А. Моделирование напряженного состояния в процессах объемного формоизменения на основании гипотезы о подобии путей деформирования / В. А. Огородников, М. А. Рвачев, В. Д. Покрас, О. Л. Гайдамак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1991. – № 11. – С. 2–4.

Рецензія/Peer review : 22.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сивак І.О.